

**SIMULASI PENGUJIAN DESAIN KERANGKA SEPEDA  
GUNUNG DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
mencapai derajat Sarjana Teknik Industri**



**YONATAN SAPUTRA**

**17 06 09307**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA YOGYAKARTA**

**2021**

# HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Berjudul

SIMULASI PENGUJIAN DESAIN KERANGKA SEPEDA GUNUNG DENGAN METODE ELEMEN  
HINGGA

yang disusun oleh

YONATAN SAPUTRA

170609307

dinyatakan telah memenuhi syarat pada tanggal 08 Oktober 2021

		Keterangan
Dosen Pembimbing 1	: A. Tonny Yuniarto, ST., M.Eng.	Telah menyetujui
Dosen Pembimbing 2	: Dr. T. Paulus Wisnu Anggoro, S.T., MT.	Telah menyetujui
Tim Penguji		
Penguji 1	: A. Tonny Yuniarto, ST., M.Eng.	Telah menyetujui
Penguji 2	: B. Laksito Purnomo, S.T., M.Sc., IPM, Asean Eng, CSCA, CSCM	Telah menyetujui
Penguji 3	: Dr. T. Baju Bawono, ST., MT.	Telah menyetujui

Yogyakarta, 08 Oktober 2021

Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Fakultas Teknologi Industri

Dekan

ttd

Dr. A. Teguh Siswanto, M.Sc

## PERNYATAAN ORIGINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yonatan Saputra

NPM : 17 06 09307

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya dengan judul “Simulasi Pengujian Desain Kerangka Sepeda Gunung dengan Metode Elemen Hingga” merupakan hasil penelitian saya pada Tahun Akademik 2020/2021 yang bersifat original dan tidak mengandung *plagiasi* dari karya manapun.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidak sesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku termasuk untuk dicabut gelar Sarjana yang telah diberikan Universitas Atma Jaya Yogyakarta kepada saya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Yogyakarta, 8 Oktober 2021

Yang menyatakan,



Yonatan Saputra

## KATA PENGANTAR

Besar terima kasih saya kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya laporan Tugas Akhir yang berjudul Simulasi Pengujian Desain Kerangka Sepeda Gunung dengan Metode Elemen Hingga dapat penulis selesaikan dengan baik. Pembuatan laporan skripsi ini penulis lakukan sebagai syarat mencapai Sarjana Teknik Industri di Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak – pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, diantaranya:

- a. Bapak Dr. A. Teguh Siswanto, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- b. Ibu Ririn Diar Astanti, S.T., M.MT., D.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- c. Ibu Lenny Halim, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program S1 Studi Teknik Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- d. Bapak A. Tonny Yuniarto., S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing 1 Tugas Akhir yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
- e. Bapak Dr.T Paulus Wisnu Anggoro, ST. MT. selaku Dosen Pembimbing 2 Tugas Akhir yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
- f. Dosen – dosen Teknik Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah membantu penulis melalui ilmu dan pengetahuan yang diberikan dalam perkuliahan di Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penulis sadari bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Maka dari itu, penulis sangat berterima kasih dan menerima segala kritik dan saran yang membangun demi menyempurnakan laporan Tugas Akhir ini. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat berguna bagi pihak – pihak yang membutuhkan. Terima Kasih.

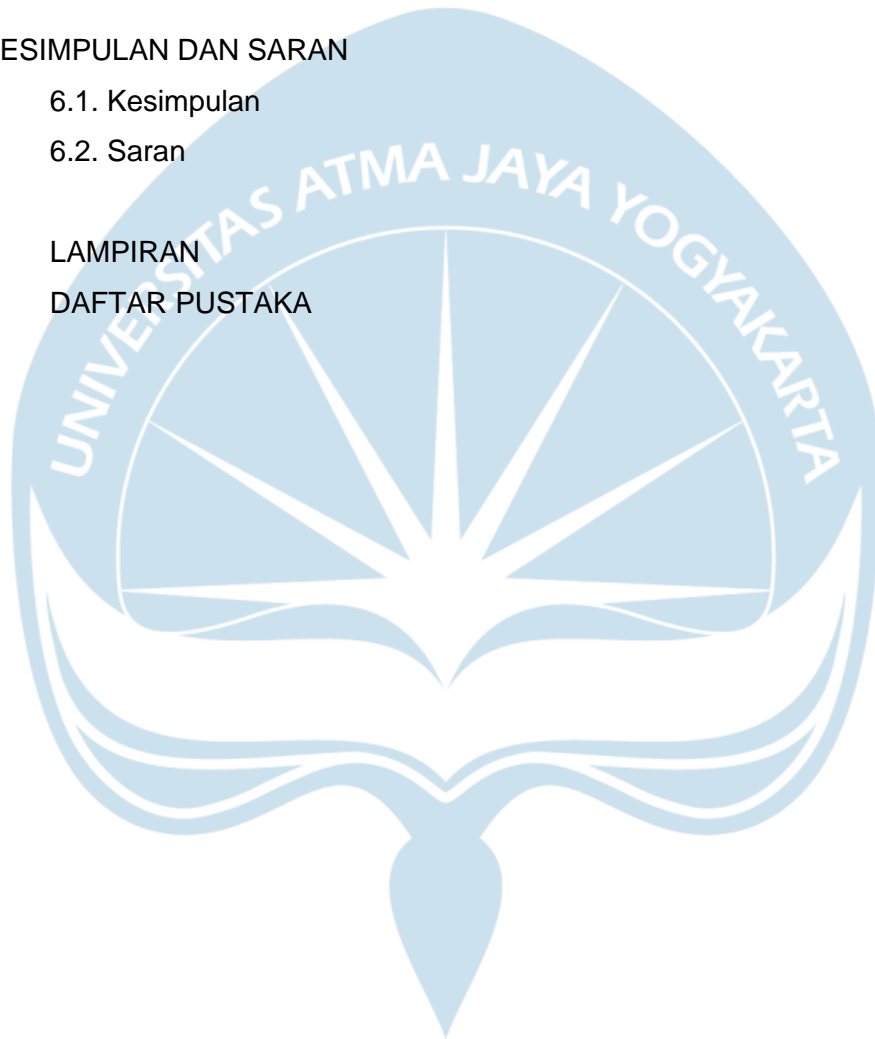
Yogyakarta, 8 Oktober 2021

Yonatan Saputra

## DAFTAR ISI

BAB	JUDUL	HAL
	HALAMAN COVER	i
	HALAMAN PENGESAHAN	ii
	PERNYATAAN ORIGINALITAS	iii
	KATA PENGANTAR	iv
	DAFTAR ISI	v
	DAFTAR GAMBAR	vii
	DAFTAR TABEL	x
	DAFTAR LAMPIRAN	xii
	INTISARI	xiii
1	PENDAHULUAN	14
	1.1. Latar Belakang	14
	1.2. Perumusan Masalah	15
	1.3. Tujuan Penelitian	16
	1.4. Batasan Masalah	16
2	TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	17
	2.1. Tinjauan Pustaka	17
	2.2. Dasar Teori	26
3	METODOLOGI PENELITIAN	57
	3.1. Data Penelitian	57
	3.2. Alat Bantu dan Mesin Penelitian	57
	3.3. Metodologi Penelitian	59
4	DATA	64
	4.1. Dimensi Geometri Kerangka Sepeda Gunung	64
	4.2. Pembebanan Kerangka Sepeda Gunung	65
	4.3. Kesesuaian <i>Material Propertise</i> pada <i>Software SolidWorks 2018</i>	70
	4.4. Pembuatan Kerangka Sepeda Gunung	71
	4.5. Simulasi Kerangka Sepeda Gunung (Desain Awal)	79
	4.6. Modifikasi Kerangka Sepeda Gunung	85
	4.7. Simulasi Kerangka Sepeda Gunung (Modifikasi)	86

5	ANALISIS <i>FINITE ELEMENT</i> KERANGKA SEPEDA GUNUNG	94
	5.1. Simulasi Metode Elemen Hingga pada Kerangka Sepeda Gunung	94
	5.2. Ringkasan Hasil Simulasi Kerangka Sepeda Gunung	94
	5.3. Pemilihan Material dan Desain Kerangka Sepeda Gunung	96
	5.4. Ulasan Komentar terhadap <i>Finite Element Analysis</i>	100
6	KESIMPULAN DAN SARAN	101
	6.1. Kesimpulan	101
	6.2. Saran	102
	LAMPIRAN	103
	DAFTAR PUSTAKA	111



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Sepeda Gunung	15
Gambar 2.1. Garis Kerangka Sepeda Gunung	18
Gambar 2.2. Empat Titik Uji Pembebanan pada Kerangka Sepeda Gunung	18
Gambar 2.3. <i>Frame</i> Modifikasi	20
Gambar 2.4. Pemaparan Hasil FEA	21
Gambar 2.5. Desain Pengelasan	25
Gambar 2.6. <i>Illustrasi Tensile, Compressive, dan Shear Stress</i>	27
Gambar 2.7. <i>Normal Strain</i>	28
Gambar 2.8. <i>Shear Strain</i>	29
Gambar 2.9. <i>Material Strength Graph</i>	30
Gambar 2.10. <i>Material Ductility Graph</i>	30
Gambar 2.11. <i>Plane Stress 3D dan 2D</i>	32
Gambar 2.12. <i>Plane Stress <math>\theta</math></i>	32
Gambar 2.13. Grafik Nilai Tegangan Normal dan Geser dengan Orientasi $\theta$	33
Gambar 2.14. Elemen Bidang untuk menghitung Tegangan Bidang Y	34
Gambar 2.15. <i>In – Plane Principal Stresses</i>	35
Gambar 2.16. <i>In – Plane Maximum Shear Stress</i>	36
Gambar 2.17. <i>Mohr's Circle – Plane Stress 2D</i>	36
Gambar 2.18. <i>Mohr's Circle – 3D Plane Stress</i>	37
Gambar 2.19. <i>Plane Strain</i>	37
Gambar 2.20. Bentuk <i>Normal Strain</i> dan <i>Shear Strain</i>	38
Gambar 2.21. <i>Mohr's Circle – Plane Strain</i>	39
Gambar 2.22. <i>Mohr's Circle – Tresca (Triaxial)</i>	40
Gambar 2.23. <i>Mohr's Circle – Tresca (Uniaxial)</i>	41
Gambar 2.24. <i>Luder's Line</i>	41
Gambar 2.25. Ilustrasi Material terkena <i>Yield Stress <math>\sigma_y</math></i>	42
Gambar 2.26. <i>Maximum Shear Stress – Plane Stress</i>	42
Gambar 2.27. <i>Maximum Distortion Energy – Plane Stress</i>	43
Gambar 2.28. Logo Software <i>SolidWorks</i>	46
Gambar 2.29. <i>Interface Awal Software pada SolidWorks 2018</i>	46
Gambar 2.30. <i>Menu Bar Interface SolidWorks 2018</i>	46
Gambar 2.31. <i>New Dialog Box</i>	47
Gambar 2.32. Lembar Kerja Baru beserta Pemilihan Satuan Unit	48

Gambar 2.33. Pemilihan Pandangan <i>Plane</i>	48
Gambar 2.34. <i>Command Manager Sketch</i>	49
Gambar 2.35. <i>Icon Shape Sketch</i>	49
Gambar 2.36. <i>Command Manager Features</i>	50
Gambar 2.37. <i>Simulation Add-ins</i>	51
Gambar 2.38. <i>New Study Simulation</i>	52
Gambar 2.39. <i>Finite Element Meshes</i>	52
Gambar 2.40. FEM pada Pengobatan Prediktif	53
Gambar 2.41. FEM pada Desain dan Keamanan Transportasi	54
Gambar 2.42. Geometri Universal Sepeda Gunung	55
Gambar 3.1. Alat Ukur Jangka Sorong Ketelitian 0,05 mm	58
Gambar 3.2. Alur Metodologi Penulisan Tugas Akhir	59
Gambar 3.3. Alur <i>Sub-program</i> Simulasi FEA	60
Gambar 4.1. Titik dan Besar Beban <i>Static Start Up</i>	66
Gambar 4.2. Titik dan Besar Beban <i>Steady State Pedalling</i>	67
Gambar 4.3. Titik dan Besar Beban <i>Vertical Impact</i>	68
Gambar 4.4. Titik dan Besar Beban <i>Horizontal Impact</i>	68
Gambar 4.5. Titik dan Besar Beban <i>Rear Wheel Braking</i>	69
Gambar 4.6. Jenis Pembebanan Kerangka Sepeda	70
Gambar 4.7. <i>Layout</i> Geometri dan <i>Bottom Bracket</i> Sepeda	71
Gambar 4.8. Hasil Model <i>3D Bottom Bracket</i> Kerangka Sepeda Gunung	72
Gambar 4.9. Hasil Model <i>2D</i> dan <i>3D Down Tube</i>	72
Gambar 4.10. Model <i>2D Dropouts</i> Kerangka Sepeda Gunung	73
Gambar 4.11. Bagian Garis <i>Dropouts</i> yang Dihapus	73
Gambar 4.12. Hasil Model <i>3D Dropouts</i>	73
Gambar 4.13. Model <i>2D Chainstay (Down)</i>	74
Gambar 4.14. Proses <i>Up to Vortex Extruded Chainstay (Down)</i>	74
Gambar 4.15. Model <i>2D Jalur Chainstay Down</i>	75
Gambar 4.16. Hasil <i>3D Chainstay Down</i>	75
Gambar 4.17. Hasil <i>Fillet</i> pada Model <i>3D Chainstay Down</i>	75
Gambar 4.18. Hasil Model <i>2D</i> dan <i>3D Chainstay Top</i>	76
Gambar 4.19. Hasil Model <i>2D</i> dan <i>3D Jalur Chainstay Top</i>	76
Gambar 4.20. Hasil Model <i>3D Mirror Chainstay Top and Down</i>	76
Gambar 4.21. Pembuatan Model <i>2D Connector Down</i> dan <i>Connector Top</i>	77
Gambar 4.22. Hasil Model <i>3D Connector Down</i> dan <i>Connector Top</i>	77



Gambar 4.23. Model <i>2D Top Tube</i> Kecil dan <i>Top Tube</i> Besar	77
Gambar 4.24. Hasil Model <i>3D Top Tube</i>	78
Gambar 4.25. Hasil Model <i>2D</i> dan <i>3D Seat Tube</i>	78
Gambar 4.26. Hasil Model <i>3D</i> Kerangka Sepeda Gunung	78
Gambar 4.27. <i>Mass Properties</i> Desain Awal Al-6061 dan ST-4130	79
Gambar 4.28. Hasil Proses <i>Meshing</i> Kerangka Sepeda Gunung	79
Gambar 4.29. Proses Modifikasi Sudut <i>Down Tube</i> Kerangka Sepeda	86
Gambar 4.30. Hasil Desain Modifikasi Kerangka Sepeda Gunung	86
Gambar 4.31. <i>Mass Properties</i> Desain Modifikasi Al-6061 dan ST-4130	86
Gambar 5.1. Efek Penggunaan Material ST-4130 dan Al-6061	99
Gambar 5.2. Efek Daya Tahan Deformasi Material ST-4130 dan Al-6061	99



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Hasil Tiga Simulasi <i>Finite Element</i> pada Lima Kerangka Sepeda	20
Tabel 2.2. Beban pada Kerangka Sepeda Domestik dan Jepang	21
Tabel 2.3. Karakteristik Material yang Umum pada Kerangka Sepeda	24
Tabel 2.4. Karakteristik Material Aluminium-6061	31
Tabel 2.5. Karakteristik Material <i>Steel</i> -4130	31
Tabel 2.6. Parameter Geometri Sepeda Gunung	56
Tabel 2.7. Ukuran Rekomendasi Pemilihan Kerangka Sepeda	56
Tabel 3.1. Spesifikasi Laptop	57
Tabel 3.2. Spesifikasi Minimum pada <i>Software SolidWorks</i> 2018	58
Tabel 3.3. Spesifikasi Minimum pada <i>Software Microsoft Office</i> 2019	58
Tabel 4.1. Data Dimensi Geometri Kerangka Sepeda Gunung Polygon	64
Tabel 4.2. Data Dimensi Tabung Kerangka Sepeda Penelitian Terdahulu	64
Tabel 4.3. Data Dimensi Tabung Kerangka Sepeda Gunung Survei	65
Tabel 4.4. Data Dimensi Geometri Kerangka Sepeda Terpakai	65
Tabel 4.5. Data Dimensi Tabung Kerangka Sepeda Terpakai	65
Tabel 4.6. <i>Material Propertise</i> pada <i>Software SolidWorks</i> 2018	70
Tabel 4.7. Gambar Simulasi <i>Static Start Up</i> (Desain Awal)	80
Tabel 4.8. Gambar Simulasi <i>Steady State Pedalling</i> (Desain Awal)	81
Tabel 4.9. Gambar Simulasi <i>Vertical Impact</i> (Desain Awal)	82
Tabel 4.10. Gambar Simulasi <i>Horizontal Impact</i> (Desain Awal)	83
Tabel 4.11. Gambar Simulasi <i>Rear Wheel Braking</i> (Desain Awal)	84
Tabel 4.12. Gambar Simulasi <i>Static Start Up</i> (Desain Modifikasi)	87
Tabel 4.13. Gambar Simulasi <i>Steady State Pedalling</i> (Desain Modifikasi)	88
Tabel 4.14. Gambar Simulasi <i>Vertical Impact</i> (Desain Modifikasi)	89
Tabel 4.15. Gambar Simulasi <i>Horizontal Impact</i> (Desain Modifikasi)	90
Tabel 4.16. Gambar Simulasi <i>Rear Wheel Braking</i> (Desain Modifikasi)	92
Tabel 5.1. Ringkasan Hasil Simulasi Desain Kerangka Awal	95
Tabel 5.2. Ringkasan Hasil Simulasi Desain Kerangka Modifikasi	95
Tabel 5.3. Ringkasan Hasil Simulasi Desain Kerangka Modifikasi (n = 2)	96
Tabel 5.4. Persentase <i>Stress</i> ST-4130 dengan Al-6061 Modifikasi	97
Tabel 5.5. Persentase <i>Displacement</i> ST-4130 dengan Al-6061 Modifikasi	97
Tabel 5.6. Persentase <i>Strain</i> ST-4130 dengan Al-6061 Modifikasi	97
Tabel 5.7. Persentase FOS Desain Awal dengan Modifikasi (ST-4130)	97

Tabel 5.8. Persentase FOS Desain Awal dengan Modifikasi (AI-6061)

97

Tabel 5.9. Ulasan Komentar Masyarakat

100



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Screenshot</i> Kontak dengan Tempat Penelitian	103
Lampiran 2. <i>Screenshot</i> Kontak dengan Dosen Pembimbing (1)	104
Lampiran 3. <i>Screenshot</i> Kontak dengan Dosen Pembimbing (2)	105
Lampiran 4. <i>Drafting</i> Desain Awal Kerangka Sepeda Gunung (ST-4130)	106
Lampiran 5. <i>Drafting</i> Desain Awal Kerangka Sepeda Gunung (AI-6061)	107
Lampiran 6. <i>Drafting</i> Desain Modifikasi Kerangka Sepeda Gunung (ST-4130)	108
Lampiran 7. <i>Drafting</i> Desain Modifikasi Kerangka Sepeda Gunung (AI-6061)	109
Lampiran 8. <i>Google Forms Comment Review</i>	110



## INTISARI

Sepeda merupakan alat transportasi yang fleksibel dalam segala kondisi sehingga masih banyak masyarakat yang menggunakannya. Menurut data Asosiasi Industri Persepedaan Indonesia (AIPI) penjualan sepeda lokal tahun 2020 hampir menembus 8.000.000 unit dimana menurut beberapa toko sepeda di Kota Yogyakarta mengatakan bahwa sekitar 50 – 60% penjualan sepeda didominasi oleh sepeda gunung. Sepeda gunung merupakan salah satu jenis sepeda yang fleksibel digunakan di kota maupun *off-road*, sehingga tidak heran apabila sepeda gunung digemari oleh banyak kalangan dari muda hingga tua.

Melihat dari permintaan sepeda gunung yang cukup mendominasi penjualan di beberapa toko sepeda di Kota Yogyakarta, muncul ide untuk melakukan pengujian terhadap desain kerangka sepeda untuk mengetahui karakteristik ketahanan kerangka sepeda serta material terbaik antara ST-4130 dan Al-6061. Pengujian ketahanan kerangka sepeda dilakukan dengan metode elemen hingga untuk menghasilkan empat parameter pengujian (*von mises stress*, *displacement*, *strain*, dan *factor of safety*) melalui lima jenis pembebanan (*static start up*, *steady state pedalling*, *vertical impact*, *horizontal impact*, dan *rear wheel braking*) dengan *software* SolidWorks 2018. Berdasarkan hasil pengujian desain kerangka sepeda yang diperoleh, maka dilakukan upaya pemberian usulan perbaikan melalui metode eksperimen.

Hasil karakteristik ketahanan desain awal kerangka sepeda gunung memiliki nilai maksimum *stress* Al-6061 dan ST-4139 sebesar 1,33 – 37,98 MPa dan 1,15 – 38,87 MPa, maksimum *displacement* 0,0016 – 0,231 mm dan 0,0016 – 0,079 mm, maksimum *strain* 1,415E-05 – 3,860E-04 dan 3,974E-06 – 1,279E-04, serta minimum FOS 7,24 – 207,40 dan 11,84 – 399,40. Upaya perbaikan dilakukan dengan mengubah sudut *down tube* semula 45° menjadi 50° sehingga nilai perbaikan untuk maksimum *stress* Al-6061 dan ST-4130 sebesar 1,30 – 22,89 dan 1,14 – 23,29 MPa, maksimum *displacement* 0,0020 – 0,162 mm dan 0,0019 – 0,054 mm, maksimum *strain* 1,454E-05 – 2,351E-04 dan 4,072E-06 – 7,745E-05, serta minimum FOS 12,01 – 211,00 dan 19,75 – 404,20. Pemilihan material terbaik dilakukan berdasarkan perbaikan parameter yang mendominasi dengan pemilihan desain dilihat berdasarkan FOS masing – masing material.

**Kata Kunci:** Sepeda Gunung, *Global Warming*, *Mountain Bike Frame*, Metode Elemen Hingga, *Finite Element Analysis*.